

書誌

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)
(12)【公報種別】公開特許公報(A)
(11)【公開番号】特開平9-27636
(43)【公開日】平成9年(1997)1月28日
(54)【発明の名称】化合物半導体装置及び化合物半導体発光装置
(51)【国際特許分類第6版】

H01L 33/00
21/203
21/205
H01S 3/18

【FI】

H01L 33/00 A
21/203 M
21/205
H01S 3/18

【審査請求】未請求
【請求項の数】7
【出願形態】OL
【全頁数】7
(21)【出願番号】特願平7-176034
(22)【出願日】平成7年(1995)7月12日
(71)【出願人】
【識別番号】000003078
【氏名又は名称】株式会社東芝
【住所又は居所】神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
(72)【発明者】
【氏名】藤本 英俊
【住所又は居所】神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
(72)【発明者】
【氏名】新田 康一
【住所又は居所】神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会社東芝堀川町工場内
(74)【代理人】
【弁理士】
【氏名又は名称】鈴江 武彦

要約

(57)【要約】

【課題】結晶欠陥の少ない窒化物系化合物半導体膜を形成することができ、発光素子の信頼性向上をはかる。

【解決手段】窒化物系化合物半導体結晶を用いた化合物半導体発光ダイオードにおいて、結晶性基板としてAlN配向性多結晶基板11を用い、この基板11上にn型Ga_{0.9}N層12とp型Ga_{0.9}N層13を成長形成し、各層12、13にIn膜14、15からなるオーミック電極を形成している。

請求の範囲

【特許請求の範囲】

【請求項1】配向性多結晶からなる結晶性基板と、この基板上に成長形成された窒化物系化合物半導体膜とを具備してなることを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項2】前記結晶性基板は、AlN, GaN, SiC又はこれらの固溶体からなる配向性多結晶基板であることを特徴する請求項1記載の化合物半導体装置。

【請求項3】前記結晶性基板は、c軸方向に配向性を有する配向性多結晶基板であることを特徴する請求項1又は2記載の化合物半導体装置。

【請求項4】配向性多結晶からなる結晶性基板と、この基板上に複数層の窒化物系化合物半導体膜を成長形成してなり、かつ一部に発光層となるpn接合又はヘテロ接合を有する半導体積層部とを具備してなることを特徴とする化合物半導体発光装置。

【請求項5】前記結晶性基板は、AlN, GaN, SiC又はこれらの固溶体からなる配向性多結晶基板であることを特徴する請求項4記載の化合物半導体発光装置。

【請求項6】前記結晶性基板は、c軸方向に配向性を有する配向性多結晶基板であることを特徴する請求項4又は5記載の化合物半導体発光装置。

【請求項7】前記発光層は、365nmから530nmまでの領域を発光波長として有することを特徴する請求項4記載の化合物半導体発光装置。

詳細な説明

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶性基板上に形成された窒化物系化合物半導体からなる化合物半導体装置及び化合物半導体発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、青色或いは紫色の発光ダイオード用の半導体材料として、AlGaInNで表わされる窒化物系化合物半導体が知られている。従来、この材料系は主として有機金属気相成長法(MOCVD法)により、サファイア基板上に成長されてきた。この方法により成長された窒化物系化合物半導体は、基板との格子不整合が16%程度あることから、結晶欠陥が 10^8 cm^{-2} から 10^{10} cm^{-2} の密度で発生している。

【0003】このような結晶欠陥密度の低減に関しては、特公平4-15200号公報、特開平2-81482号公報や特開平4-297023号公報などに記載されているように、種々のバッファ層を用いた手法が試みられている。しかし、いずれの場合においても、サファイアを基板として用いていることから、基板とバッファ層との界面に発生する結晶欠陥を低減することができず、基板上に成長した窒化物系化合物半導体膜へ欠陥が伝播する。そのため、発光素子における発光強度の減少や、高耐圧素子における耐圧不良などといった素子の信頼性に不十分な点が多く、或いは素子の劣化が生じやすく実用化するには問題があった。

【0004】また、従来よりAlN多結晶体については、その熱伝導性が優れていることから、放熱を兼ねた支持基板として用いられている。しかし、このような基板は、熱伝導性にのみ着目して使用されているもので、X線回折を測定した場合に特定の角度領域に高強度のピークを持たない、いわゆる配向性を持たないものであった。従って、このような多結晶体を窒化物系化合物半導体の成長用基板として用いた場合には、基板上に成長させた窒化物系化合物半導体が単結晶とはならず、素子が形成できないという問題点があった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、窒化物系化合物半導体を用いた半導体装置或いは半導体発光装置においては、基板上に形成された窒化物系化合物半導体層中に基板と半導体層との間の格子不整合に起因する結晶欠陥が多く、発光強度の低下や耐圧の不良などといった素子の信頼性に問題点があった。

【0006】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、結晶欠陥の少ない良質の窒化物系化合物半導体膜を形成することができ、素子の信頼性向上をはかり得る化合物半導体装置及び化合物半導体発光装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

(概要)上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、結晶性基板と、この基板上に成長形成された化合物半導体膜とを備えた化合物半導体装置において、結晶性基板は配向性多結晶基板からなり、化合物半導体膜は窒化物系化合物半導体膜からなることを特徴とする。

【0008】また本発明は、窒化物系化合物半導体結晶を用いた化合物半導体発光装置において、配向性多結晶からなる結晶性基板と、この基板上に複数層の窒化物系化合物半導体膜を成長形成してなり、かつ一部に発光層となるpn接合又はヘテロ接合を有する半導体積層部とを具備してなることを特徴とする。

【0009】ここで、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

- (1) 結晶性基板は、AlN、GaN、SiC又はこれらの固溶体からなる配向性多結晶基板であること。
- (2) 結晶性基板は、c軸方向に配向性を有する配向性多結晶基板であること。
- (3) 発光層は、365nmから530nmまでの領域を発光波長として有すること。
- (4) 結晶成長法として、MOCVD法を用いること。

(作用)本発明によれば、結晶性基板としてAlN、GaN、SiC等の配向性多結晶基板を用いることから、基板とその上に形成された窒化物系化合物半導体膜との間の格子不整合が小さくなる。このため、窒化物系化合物半導体膜の欠陥密度が減少し、これにより素子の信頼性が向上する。具体的には、発光素子における発光強度の向上や高耐圧素子における耐圧向上等をはかることができる。また、この基板は特定の方向に配向性を有することから、窒化物系化合物半導体膜の成長においても単結晶が形成される。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

(実施形態1)図1は、本発明の第1の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0011】結晶性基板としてc軸に配向したAlN多結晶基板が用いられ、このAlN多結晶基板11の一主面

11a上に、厚さ4 μm のn型Ga N 層12と厚さ1 μm のp型Ga N 層13が積層されている。p型Ga N 層13は発光層として働く。p型Ga N 層13の一部はn型Ga N 層12が露出するまでエッチング除去されている。そして、オーミック電極として、p型Ga N 層13上にIn膜14が形成され、n型Ga N 層12の露出部分にIn膜15が形成されている。

【0012】次に、本実施形態における発光ダイオードの製造方法について説明する。結晶成長法としては、MOCVD法を用いた。このMOCVD法では、キャリアガスとして水素(H_2)、原料ガスとしてトリメチルガリウム($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$:TMG)、アンモニア(NH_3)、シラン(SiH_4)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム($(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$:Cp $_2$ Mg)を用いた。

【0013】まず、有機洗浄及び酸洗浄によって表面を洗浄したAIN多結晶基板11をMOCVD装置の反応室に載置された加熱可能なサセプタ上に装着する。そして、常圧で H_2 を10L/分流通し、温度110 $^\circ\text{C}$ で約10分間、AIN多結晶基板11の一主面11aを気相エッチングした。なお、AINの配向性多結晶基板の作成方法については後述する。

【0014】次いで、AIN多結晶基板11を1050 $^\circ\text{C}$ に降温・保温し、 H_2 を10L/分、 NH_3 を5L/分、TMGを25cc/分、 SiH_4 を10cc/分、それぞれ流すことによりGa N 層12を約1時間形成した。

【0015】次いで、AIN多結晶基板11を1050 $^\circ\text{C}$ で保温したまま、 H_2 を10L/分、 NH_3 を5L/分、TMGを25cc/分、 SiH_4 を10cc/分、Cp $_2$ Mgを100cc/分、それぞれ流すことによりp型Ga N 層13を約15分形成した。

【0016】Ga N 層12及び13が成長したAIN多結晶基板11を室温まで降温した後にMOCVD装置から取り出し、 SiO_2 等をマスクとし、高温の酸又はアルカリによってn型Ga N 層12が露出するまでp型Ga N 層13を選択エッチングした。

【0017】次いで、Inを周知の真空蒸着法によって約1 μm 形成し、窒素雰囲気中、300 $^\circ\text{C}$ の加熱処理により良好なオーミック電極とした。なお、各層のキャリア濃度は、n型Ga N 層12が $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、p型Ga N 層13が $6 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ であった。

【0018】このようにして形成された発光ダイオードを350 μm 角の大きさに切り分け、ステム上にマウントし、モールドすることにより、ランプが完成する。このようにして形成された発光ダイオードにおいては、n型Ga N 層12やp型Ga N 層13における結晶欠陥は極めて少ないものであった。そして、従来のサファイア基板を用いた場合の同様の構造の発光ダイオードと比較して、通電劣化が起こりにくく、寿命を約1桁改善することができた。

【0019】なお、AINの配向性多結晶基板は次のようにして作成すれば良い。AINやSiCなどの配向性多結晶基板は、これらの材料系に常圧においては液相が見られないことから、昇華法によって作成することができる。例えば、SiCでは、周知のレーリー法を用いることによって作成することができる。これは、SiCの粉末を2400 $^\circ\text{C}$ 程度の高温で熱することによってSiCが気化(昇華)し、これに対して2200 $^\circ\text{C}$ 程度の低温部を作ることによって、その低温部分に結晶が析出するものである。このとき、これらの材料系はある種の方向に配列の規則性を持ちやすいことから、配向性多結晶基板を作成することが可能である。このような方法は、AINやGa N にも適用できる。この場合には、窒素が非常に解離しやすいことから、窒素雰囲気中で作成することが望ましい。

(実施形態2)図2は、本発明の第2の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0020】結晶性基板としてc軸に配向性を有したAIN多結晶基板21を用い、この基板21上に、基板側から順に厚さ20nmのGa N バッファ層22、厚さ4 μm のn型Ga N 層23、厚さ1 μm のp型Ga N 層24が積層されている。Ga N バッファ層22は、AIN配向性多結晶基板とGa N 層との間にある2.2%の格子不整合を緩和し、格子欠陥の発生を抑制するために形成したものである。また、p型Ga N 層24の一部はn型Ga N 層23が露出するまでエッチング除去され、各層23、24にオーミック電極としてのIn層25、26が形成されている。

【0021】このような構造で素子を形成した結果、AIN配向性多結晶基板上に直接窒化物系化合物半導体層を形成した第1の実施形態と比較して、窒化物系化合物半導体層の結晶性がさらに向上しており、素子の寿命にも改善が見られた。このようにして形成された発光ダイオード20では、同様の構造を従来のサファイア基板を用いて作製した場合と比較して、寿命を1桁以上改善することができた。

(実施形態3)図3は、本発明の第3の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0022】結晶性基板としてc軸に配向性を有したAIN多結晶基板31を用い、この基板31上に、基板側から順に厚さ20nmのGa N バッファ層32、厚さ4 μm のp型Ga N 層33、厚さ1 μm のn型Ga N 層34が積層さ

れている。また、n型GaN層34の一部はp型GaN層33が露出するまで除去され、各層33、34にオーミック電極としてのIn層35、36が形成されている。

【0023】このような構造では、同じキャリア濃度を有していても移動度の差異によって比較的低抵抗になりやすいn型GaN層が表面に形成されているため、電流の広がりが生じやすく、従って発光領域を広くとることができる。そのため、第3の実施形態と比較して発光強度に3～5倍の増加が見られるようになった。

(実施形態4)図4は、本発明の第4の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0024】結晶性基板としてc軸に配向したAlN多結晶基板41を用い、この基板41上に、基板側から順に厚さ20nmのGaNバッファ層42、Siを添加した厚さ3 μ mのn型AlGa_{0.15}N層43、SiとZnとを同時に添加した厚さ50nmのn型InGa_{0.06}N層44、Mgを添加した厚さ300nmのp型Ga_{0.94}N層45が第1の実施形態と同様のMOCVD法を用いて形成されている。

【0025】MOCVD法において、キャリアガスとしてH₂及び窒素(N₂)、原料ガスとしてTMG、トリメチルアルミニウム((CH₃)₃Al:TMA)、トリメチルインジウム((CH₃)₃In:TMI)、NH₃、SiH₄、Cp₂Mg、ジエチル亜鉛((C₂H₅)₂Zn:DEZ)を用いた。

【0026】本実施形態の発光ダイオードでは、ダブルヘテロ構造が形成されているため、第1から第3までの実施形態に示したような単純なホモ接合と比較して発光層におけるキャリアの閉じ込め効果が強く生じ、従って発光強度が著しく増加する。

【0027】また、本実施形態において、InGa_{0.06}N発光層44はInとGaとの間の組成比が6%と設定したが、この組成比によって発光波長を変えることができる。しかしながら、Inの組成比が大きくなり、長波長に発光波長を設定しようとすると発光層44の結晶性に低下が見られることから、発光波長が365nmから530nmまでの範囲に入るInの組成比が望ましい。さらにはInの組成比が発光波長が365nmから480nmにはいる範囲にあることが望ましい。

(実施形態5)図5は、本発明の第5の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0028】本実施形態においては、結晶性基板としてm軸(<1-100>軸)に配向したAlN多結晶基板51を用い、その上にGa_{0.94}Nバッファ層52を厚さ20nm、n型Ga_{0.94}N層53を4 μ m、アンドープInGa_{0.06}N層54を100nm、p型Ga_{0.94}N層55を300nm形成している。そして、p型Ga_{0.94}N層55上にSiO₂膜56をパターンニングして形成した幅10 μ mのストライプに、In-Zn電極57を形成している。さらに、n型Ga_{0.94}N層53にはIn電極58を形成している。

【0029】このような構造の半導体レーザでは、発光波長はInGa_{0.06}N層54中のInの組成によって変化するが、波長365nmから480nmの間でレーザ発振を起こすことができる。

(実施形態6)図6は、本発明の第6の実施形態に係わる高速素子HEMT(高電子移動度トランジスタ)を示す素子構造断面図である。

【0030】本実施形態では、c軸に配向したAlN多結晶基板61を結晶性基板として用いており、その上にアンドープのn型Ga_{0.94}N層62とSiドープのn型Al_{0.15}Ga_{0.85}N層63をこの順で積層した構造になっている。ソース電極64及びドレイン電極66はTi/Auの積層構造からなり、熱処理によりn型Ga_{0.94}N層62に接触をとっている。ゲート電極65はTiWからなる。n型Ga_{0.94}N層62の膜厚は0.6 μ mで、キャリア濃度は1 $\times 10^{17}$ cm⁻³である。n型AlGa_{0.15}N層63の膜厚は25nmであり、キャリア濃度は4 $\times 10^{18}$ cm⁻³である。

【0031】このような素子においては、その素子特性であるカットオフ周波数f_cが20GHz、最大振動周波数f_{max}が50GHzの特性を持っている。また、デバイスの寿命もそれまでのサファイア基板上に形成した場合と比べて、3倍程度の改善を見ることができた。

(実施形態7)図7は、本発明の第7の実施形態に係わるレーザダイオードを示す素子構造断面図である。

【0032】本実施形態においては、c軸に配向したGa_{0.94}N多結晶71を基板として用い、この上に周知のMOCVD法において、厚さ100nmのSiドープn型Ga_{0.94}N層72を成長した。さらにその上に厚さ0.1 μ mのアンドープGa_{0.94}N層74を、厚さ1 μ mのSiドープn型AlGa_{0.15}N層73及びp型AlGa_{0.15}N層75(いずれもAl組成比は0.25)で挟み込んだ形で成長した。さらにその上に、AlGa_{0.15}N層の表面酸化を抑制することを目的とするキャップ層として、p型Ga_{0.94}N層76を0.3 μ mの厚さで形成した。

【0033】キャリア濃度はそれぞれ、n型Ga_{0.94}N層72が1 $\times 10^{19}$ cm⁻³、n型AlGa_{0.15}N層73が3 $\times 10^{18}$ cm⁻³、p型AlGa_{0.15}N層75が1 $\times 10^{18}$ cm⁻³、p型Ga_{0.94}N層76が1 $\times 10^{18}$ cm⁻³とした。n型Ga_{0.94}N層72を露出させる手段としてはCl₂ガスによる反応性イオンエッチング(RIE)法を用いた。

【0034】電極としては、n型に対してはTi/Auの積層構造77を、p型層に対してはNi/Auの積層構造78を用い、700℃の熱処理を施すことによりオーミック電極とした。なお、電流狭窄のために、p型Ga_{0.94}N層76

の上にSiO₂膜79を形成し、積層構造78はp型GaN層76の一部に接触するようにした。

【0035】このような構成のレーザダイオードにおいては、電圧約5V、しきい値電流密度 8×10^3 A/cmでレーザ発振が生じた。

(実施形態8)図8は、本発明の第8の実施形態に係わる発光ダイオードを示す素子構造断面図である。

【0036】本実施形態においては、c軸に配向したSiC多結晶基板81を結晶性基板として用い、この上に周知のCVD法においてジシラン(Si₂H₆)及びアセチレン(C₂H₂)を用いて、約500nmのSiCバッファ層82、さらにTMG及びNH₃を用いて厚さ約100nmのGaNバッファ層83を形成した。この上に連続してn型AlGaN層84(厚さ3μm, キャリア濃度 2×10^{18} cm⁻³, Al組成比0.3)、アンドープGaN層85(厚さ0.2μm)、p型AlGaN層86(厚さ1μm, キャリア濃度 2×10^{17} cm⁻³, Al組成比0.3)、p型GaN層87(厚さ300nm, キャリア濃度 2×10^{18} cm⁻³)をこの順で積層した。

【0037】また、n型AlGaN層84への電氣的な接触をする手段として、n型層84までの各層をBCl₃ガスによってドライエッチングした。電極には、n型AlGaN層84に対してはIn層88を、p型GaN層87に対してはIn-Zn層89を用いた。

【0038】このような構成のレーザダイオードにおいては、電圧約5Vで光出力1mWの波長380nmの発振を得た。

(実施形態9)図9は、本発明の第9の実施形態に係わるレーザダイオードを示す構造断面図である。本実施形態においては、c軸に配向したSiC多結晶91を基板として用いている。この基板91は、基板形成の過程において窒素を添加することによりn型の導電性を強く持たせている。この基板91上に周知のCVD法において厚さ約100nmのSiCバッファ層92、周知のMOCVD法において連続して厚さ3μmのn型GaN層93、厚さ500nmのn型AlGaNクラッド層94(Al組成比=30%)、厚さ100nmのアンドープInGaN活性層95(In組成比=10%)、厚さ500nmのp型GaNコンタクト層97をこの順で積層した。また、電極としてはSiC多結晶基板91及びp型GaN層97に対して、それぞれ厚さ300nmのNiと厚さ1μmのAuとの積層構造99をSiO₂膜98によってストライプ幅を制御することによって形成した。

【0039】このような構成のレーザダイオードにおいては、エピタキシャル成長層93から97に対してエッチング処理を施す必要がないため、低抵抗の素子を形成することができる。即ち、低しきい値でレーザ発振を生じさせることができた。

(実施形態10)図10は、本発明の第10の実施形態に係わる発光ダイオードを示す構造断面図である。本実施形態においては、c軸に配向したSiCとAlNとの固溶体101を基板として用い、この上に周知のMOCVD法を用いて連続して、厚さ50nmのGaNバッファ層102、厚さ3μmのn型GaN層103、厚さ100nmのInGaN(In組成比=6%)層104、厚さ500nmのp型GaN層105をこの順で積層する。また、電極として基板101及びp型GaN層105に対してそれぞれ厚さ300nmのNiと厚さ1μmのAuとの積層構造106を形成している。

【0040】このような発光ダイオード100においては、基板の電子親和力が小さいことから容易に低抵抗のオーミック電極を形成することができる。そのため、素子にかかる電力を低減することができる。

【0041】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。例えば、実施形態についてはc軸及びm軸に配向した多結晶を基板として用いたが、a軸(<11-20>軸)やR軸(<1-102>軸)などに配向したものを基板とした場合でも同様の効果を得ることができる。

【0042】また、窒化物系化合物半導体膜の成長法もMOCVD法に限られるものではなく、MBE法(分子線エピタキシー法)や、ハイドライド気相成長法など一般に知られている結晶成長法を用いることも可能である。

【0043】また、実施形態では発光素子及び光速素子HEMTについて説明したが、格子定数が近いAlN, GaN, SiCの配向性多結晶を窒化物系化合物半導体成長用の基板に用いることにより、高耐压のパワーデバイスなどを作成することも可能である。

【0044】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、窒化物系化合物半導体の結晶成長用基板として、AlN, GaN, SiC等の配向性多結晶を用いることにより、結晶欠陥の発生が抑制され、結晶性の向上をはかることができた。これにより、素子特性の向上及び長寿命化を達成することが可能となる。

分野

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶性基板上に形成された窒化物系化合物半導体からなる化合物半導体装置及び化合物半導体発光装置に関する。

技術

【従来の技術】現在、青色或いは紫色の発光ダイオード用の半導体材料として、AlGaInNで表わされる窒化物系化合物半導体が知られている。従来、この材料系は主として有機金属気相成長法(MOCVD法)により、サファイア基板上に成長されてきた。この方法により成長された窒化物系化合物半導体は、基板との格子不整合が16%程度あることから、結晶欠陥が 10^8 cm^{-2} から 10^{10} cm^{-2} の密度で発生している。

【0003】このような結晶欠陥密度の低減に関しては、特公平4-15200号公報、特開平2-81482号公報や特開平4-297023号公報などに記載されているように、種々のバッファ層を用いた手法が試みられている。しかし、いずれの場合においても、サファイアを基板として用いていることから、基板とバッファ層との界面に発生する結晶欠陥を低減することができず、基板上に成長した窒化物系化合物半導体膜へ欠陥が伝播する。そのため、発光素子における発光強度の減少や、高耐圧素子における耐圧不良などといった素子の信頼性に不十分な点が多く、或いは素子の劣化が生じやすく実用化するには問題があった。

【0004】また、従来よりAlN多結晶体については、その熱伝導性が優れていることから、放熱を兼ねた支持基板として用いられている。しかし、このような基板は、熱伝導性にのみ着目して使用されているもので、X線回折を測定した場合に特定の角度領域に高強度のピークを持たない、いわゆる配向性を持たないものであった。従って、このような多結晶体を窒化物系化合物半導体の成長用基板として用いた場合には、基板上に成長させた窒化物系化合物半導体が単結晶とはならず、素子が形成できないという問題点があった。

効果

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、窒化物系化合物半導体の結晶成長用基板として、AlN, GaN, SiC等の配向性多結晶を用いることにより、結晶欠陥の発生が抑制され、結晶性の向上をはかることができた。これにより、素子特性の向上及び長寿命化を達成することが可能となる。

課題

【発明が解決しようとする課題】このように従来、窒化物系化合物半導体を用いた半導体装置或いは半導体発光装置においては、基板上に形成された窒化物系化合物半導体層中に基板と半導体層との間の格子不整合に起因する結晶欠陥が多く、発光強度の低下や耐圧の不良などといった素子の信頼性に問題点があった。

【0006】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、結晶欠陥の少ない良質の窒化物系化合物半導体膜を形成することができ、素子の信頼性向上をはかり得る化合物半導体装置及び化合物半導体発光装置を提供することにある。

手段

【課題を解決するための手段】

(概要) 上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、結晶性基板と、この基板上に成長形成された化合物半導体膜とを備えた化合物半導体装置において、結晶性基板は配向性多結晶基板からなり、化合物半導体膜は窒化物系化合物半導体膜からなることを特徴とする。

【0008】また本発明は、窒化物系化合物半導体結晶を用いた化合物半導体発光装置において、配向性多結晶からなる結晶性基板と、この基板上に複数層の窒化物系化合物半導体膜を成長形成してなり、かつ一部に発光層となるpn接合又はヘテロ接合を有する半導体積層部とを具備してなることを特徴とする。

【0009】ここで、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

- (1) 結晶性基板は、AlN, GaN, SiC又はこれらの固溶体からなる配向性多結晶基板であること。
- (2) 結晶性基板は、c軸方向に配向性を有する配向性多結晶基板であること。
- (3) 発光層は、365nmから530nmまでの領域を発光波長として有すること。
- (4) 結晶成長法として、MOCVD法を用いること。

作用

(作用)本発明によれば、結晶性基板としてAIN、GaN、SiC等の配向性多結晶基板を用いることから、基板とその上に形成された窒化物系化合物半導体膜との間の格子不整合が小さくなる。このため、窒化物系化合物半導体膜の欠陥密度が減少し、これにより素子の信頼性が向上する。具体的には、発光素子における発光強度の向上や高耐圧素子における耐圧向上等をはかることができる。また、この基板は特定の方向に配向性を有することから、窒化物系化合物半導体膜の成長においても単結晶が形成される。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

(実施形態1)図1は、本発明の第1の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0011】結晶性基板としてc軸に配向したAIN多結晶基板が用いられ、このAIN多結晶基板11の一主面11a上に、厚さ4 μ mのn型GaN層12と厚さ1 μ mのp型GaN層13が積層されている。p型GaN層13は発光層として働く。p型GaN層13の一部はn型GaN層12が露出するまでエッチング除去されている。そして、オーミック電極として、p型GaN層13上にIn膜14が形成され、n型GaN層12の露出部分にIn膜15が形成されている。

【0012】次に、本実施形態における発光ダイオードの製造方法について説明する。結晶成長法としては、MOCVD法を用いた。このMOCVD法では、キャリアガスとして水素(H₂)、原料ガスとしてトリメチルガリウム((CH₃)₃Ga:TMG)、アンモニア(NH₃)、シラン(SiH₄)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム((C₅H₅)₂Mg:Cp₂Mg)を用いた。

【0013】まず、有機洗浄及び酸洗浄によって表面を洗浄したAIN多結晶基板11をMOCVD装置の反応室に載置された加熱可能なサセプタ上に装着する。そして、常圧でH₂を10L/分流通しなから、温度1100℃で約10分間、AIN多結晶基板11の一主面11aを気相エッチングした。なお、AINの配向性多結晶基板の作成方法については後述する。

【0014】次いで、AIN多結晶基板11を1050℃に降温・保温し、H₂を10L/分、NH₃を5L/分、TMGを25cc/分、SiH₄を10cc/分、それぞれ流すことによりGaN層12を約1時間形成した。

【0015】次いで、AIN多結晶基板11を1050℃で保温したまま、H₂を10L/分、NH₃を5L/分、TMGを25cc/分、SiH₄を10cc/分、Cp₂Mgを100cc/分、それぞれ流すことによりp型GaN層13を約15分形成した。

【0016】GaN層12及び13が成長したAIN多結晶基板11を室温まで降温した後MOCVD装置から取り出し、SiO₂等をマスクとし、高温の酸又はアルカリによってn型GaN層12が露出するまでp型GaN層13を選択エッチングした。

【0017】次いで、Inを周知の真空蒸着法によって約1 μ m形成し、窒素雰囲気中、300℃の加熱処理により良好なオーミック電極とした。なお、各層のキャリア濃度は、n型GaN層12が3×10¹⁸cm⁻³、p型GaN層13が6×10¹⁶cm⁻³であった。

【0018】このようにして形成された発光ダイオードを350 μ m角の大きさに切り分け、ステム上にマウントし、モールドすることにより、ランプが完成する。このようにして形成された発光ダイオードにおいては、n型GaN層12やp型GaN層13における結晶欠陥は極めて少ないものであった。そして、従来のサファイア基板を用いた場合の同様の構造の発光ダイオードと比較して、通電劣化が起こりにくく、寿命を約1桁改善することができた。

【0019】なお、AINの配向性多結晶基板は次のようにして作成すれば良い。AINやSiCなどの配向性多結晶基板は、これらの材料系に常圧においては液相が見られないことから、昇華法によって作成することができる。例えば、SiCでは、周知のレーリ法を用いることによって作成することができる。これは、SiCの粉末を2400℃程度の高温で熱することによってSiCが気化(昇華)し、これに対して2200℃程度の低温部を作ることによって、その低温部分に結晶が析出するものである。このとき、これらの材料系はある種の方向に配列の規則性を持ちやすいことから、配向性多結晶を作成することが可能である。このような方法は、AINやGaNにも適用できる。この場合には、窒素が非常に解離しやすいことから、窒素雰囲気中で作成することが望ましい。

(実施形態2)図2は、本発明の第2の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0020】結晶性基板としてc軸に配向性を有したAIN多結晶基板21を用い、この基板21上に、基板側から順に厚さ20nmのGaNバッファ層22、厚さ4 μ mのn型GaN層23、厚さ1 μ mのp型GaN層24が積層さ

れている。GaNバッファ層22は、AlN配向性多結晶基板とGaN層との間にある。2%の格子不整合を緩和し、格子欠陥の発生を抑制するために形成したものである。また、p型GaN層24の一部はn型GaN層23が露出するまでエッチング除去され、各層23、24にオーミック電極としてのIn層25、26が形成されている。

【0021】このような構造で素子を形成した結果、AlN配向性多結晶基板上に直接窒化物系化合物半導体層を形成した第1の実施形態と比較して、窒化物系化合物半導体層の結晶性がさらに向上しており、素子の寿命にも改善が見られた。このようにして形成された発光ダイオード20では、同様の構造を従来のサファイア基板を用いて作製した場合と比較して、寿命を1桁以上改善することができた。

(実施形態3) 図3は、本発明の第3の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0022】結晶性基板としてc軸に配向性を有したAlN多結晶基板31を用い、この基板31上に、基板側から順に厚さ20nmのGaNバッファ層32、厚さ4 μ mのp型GaN層33、厚さ1 μ mのn型GaN層34が積層されている。また、n型GaN層34の一部はp型GaN層33が露出するまで除去され、各層33、34にオーミック電極としてのIn層35、36が形成されている。

【0023】このような構造では、同じキャリア濃度を有していても移動度の差異によって比較的低抵抗になりやすいn型GaN層が表面に形成されているため、電流の広がりが生じやすく、従って発光領域を広くとることができる。そのため、第3の実施形態と比較して発光強度に3～5倍の増加が見られるようになった。

(実施形態4) 図4は、本発明の第4の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0024】結晶性基板としてc軸に配向したAlN多結晶基板41を用い、この基板41上に、基板側から順に厚さ20nmのGaNバッファ層42、Siを添加した厚さ3 μ mのn型AlGaIn(AIの組成比=15%)層43、SiとZnとを同時に添加した厚さ50nmのn型InGaIn(Inの組成比=6%)発光層44、Mgを添加した厚さ300nmのp型GaN層45が第1の実施形態と同様のMOCVD法を用いて形成されている。

【0025】MOCVD法において、キャリアガスとしてH₂ 及び窒素(N₂)、原料ガスとしてTMG、トリメチルアルミニウム((CH₃)₃Al:TMA)、トリメチルインジウム((CH₃)₃In:TMI)、NH₃、SiH₄、Cp₂Mg、ジエチル亜鉛((C₂H₅)₂Zn:DEZ)を用いた。

【0026】本実施形態の発光ダイオードでは、ダブルヘテロ構造が形成されているため、第1から第3までの実施形態に示したような単純なホモ接合と比較して発光層におけるキャリアの閉じ込め効果が強く生じ、従って発光強度が著しく増加する。

【0027】また、本実施形態において、InGaIn発光層44はInとGaとの間の組成比が6%と設定したが、この組成比によって発光波長を変えることができる。しかしながら、Inの組成比が大きくなり、長波長に発光波長を設定しようとする発光層44の結晶性に低下が見られることから、発光波長が365nmから530nmまでの範囲に入るInの組成比が望ましい。さらにはInの組成比が発光波長が365nmから480nmにはいる範囲にあることが望ましい。

(実施形態5) 図5は、本発明の第5の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図である。

【0028】本実施形態においては、結晶性基板としてm軸(<1-100>軸)に配向したAlN多結晶基板51を用い、その上にGaNバッファ層52を厚さ20nm、n型GaN層53を4 μ m、アンドープInGaIn層54を100nm、p型GaN層55を300nm形成している。そして、p型GaN層55上にSiO₂膜56をパターンニングして形成した幅10 μ mのストライプに、In-Zn電極57を形成している。さらに、n型GaN層53にはIn電極58を形成している。

【0029】このような構造の半導体レーザでは、発光波長はInGaIn層54中のInの組成によって変化するが、波長365nmから480nmの間でレーザ発振を起こすことができる。

(実施形態6) 図6は、本発明の第6の実施形態に係わる高速素子HEMT(高電子移動度トランジスタ)を示す素子構造断面図である。

【0030】本実施形態では、c軸に配向したAlN多結晶基板61を結晶性基板として用いており、その上にアンドープのn型GaN層62とSiドープのn型Al_{0.15}Ga_{0.85}N層63をこの順で積層した構造になっている。ソース電極64及びドレイン電極66はTi/Auの積層構造からなり、熱処理によりn型GaN層62に接触をとっている。ゲート電極65はTiWからなる。n型GaN層62の膜厚は0.6 μ mで、キャリア濃度は1 $\times 10^{17}$ cm⁻³である。n型AlGaIn層63の膜厚は25nmであり、キャリア濃度は4 $\times 10^{18}$ cm⁻³である。

【0031】このような素子においては、その素子特性であるカットオフ周波数f_Tが20GHz、最大振動周波数f_{max}が50GHzの特性を持っている。また、デバイスの寿命もそれまでのサファイア基板上に形成した

場合と比べて、3倍程度の改善を見ることができた。

(実施形態7)図7は、本発明の第7の実施形態に係わるレーザダイオードを示す素子構造断面図である。
【0032】本実施形態においては、c軸に配向したGaN多結晶71を基板として用い、この上に周知のMOCVD法において、厚さ100nmのSiドープn型GaN層72を成長した。さらにその上に厚さ0.1 μ mのアンドープGaN層74を、厚さ1 μ mのSiドープn型AlGaIn層73及びp型AlGaIn層75(いずれもAl組成比は0.25)で挟み込んだ形で成長した。さらにその上に、AlGaIn層の表面酸化を抑制することを目的とするキャップ層として、p型GaIn層76を0.3 μ mの厚さで形成した。

【0033】キャリア濃度はそれぞれ、n型GaIn層72が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、n型AlGaIn層73が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、p型AlGaIn層75が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、p型GaIn層76が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。n型GaIn層72を露出させる手段としては Cl_2 ガスによる反応性イオンエッチング(RIE)法を用いた。

【0034】電極としては、n型に対してはTi/Auの積層構造77を、p型層に対してNi/Auの積層構造78を用い、700 $^{\circ}\text{C}$ の熱処理を施すことによりオーミック電極とした。なお、電流狭窄のために、p型GaIn層76の上に SiO_2 膜79を形成し、積層構造78はp型GaIn層76の一部に接触するようにした。

【0035】このような構成のレーザダイオードにおいては、電圧約5V、しきい値電流密度 $8 \times 10^3 \text{ A/cm}$ でレーザ発振が生じた。

(実施形態8)図8は、本発明の第8の実施形態に係わる発光ダイオードを示す素子構造断面図である。

【0036】本実施形態においては、c軸に配向したSiC多結晶基板81を結晶性基板として用い、この上に周知のCVD法においてジシラン(Si_2H_6)及びアセチレン(C_2H_2)を用いて、約500nmのSiCバッファ層82、さらにTMG及び NH_3 を用いて厚さ約100nmのGaInバッファ層83を形成した。この上に連続してn型AlGaIn層84(厚さ3 μ m, キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, Al組成比0.3)、アンドープGaIn層85(厚さ0.2 μ m)、p型AlGaIn層86(厚さ1 μ m, キャリア濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, Al組成比0.3)、p型GaIn層87(厚さ300nm, キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をこの順で積層した。

【0037】また、n型AlG

図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図2】第2の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図3】第3の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図4】第4の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図5】第5の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図。

【図6】第6の実施形態に係わるHEMTの素子構造を示す断面図。

【図7】第7の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図。

【図8】第8の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図。

【図9】第9の実施形態に係わるレーザダイオードの素子構造を示す断面図。

【図10】第10の実施形態に係わる発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【符号の説明】

11…AIN多結晶基板(結晶性基板)

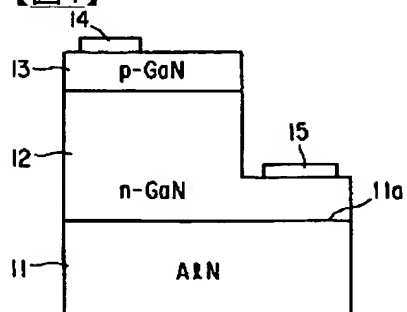
12…n型GaN層

13…p型GaN層

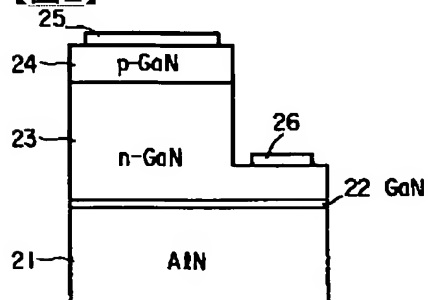
14, 15…In膜(電極)

図面

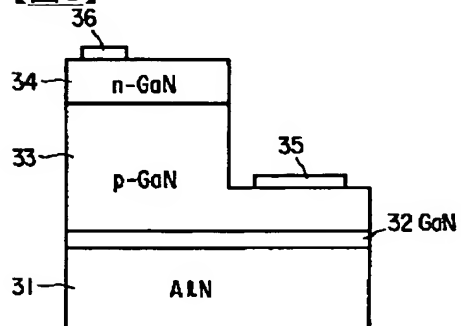
【図1】



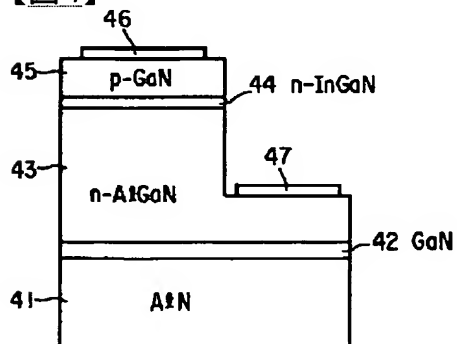
【図2】



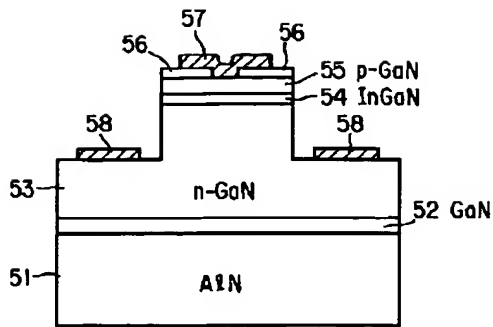
【図3】



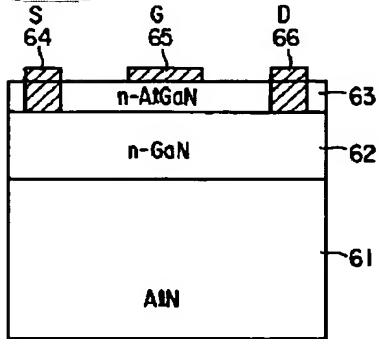
【図4】



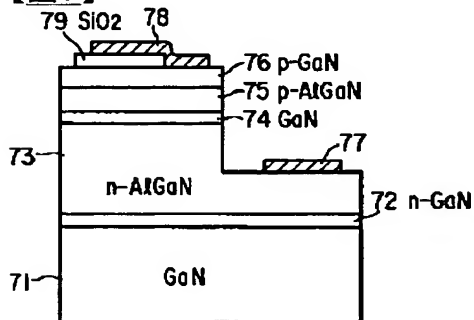
【図5】



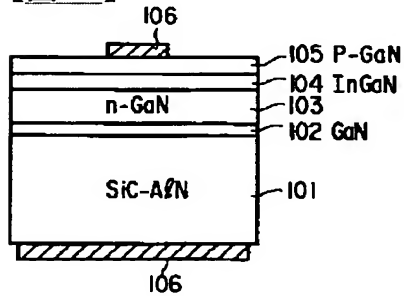
【図6】



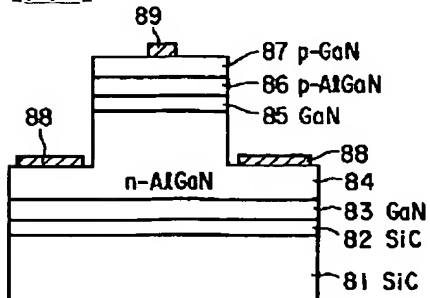
【図7】



【図10】



【図8】



4. (b) (5) 特許 2, 3

【図9】

